

Dünnwandige, großformatige Fassadenelemente aus Textilbeton*

Josef Hegger¹, Hartwig N. Schneider², Christian Kulas³, Christian Schätzke⁴

Zusammenfassung: Heutzutage werden bereits klein- bis mittelformatige Fassadenplatten aus Textilbeton mit Flächen bis zu 6 m² im Bauwesen verwendet. Dabei werden die ca. 25 mm dicken Elemente mit netzartigen technischen Textilien aus AR-Glas bewehrt. In einem kürzlich abgeschlossenen Forschungsprojekt wurde eine großformatige Fassadenplatte aus Textilbeton mit einer Elementfläche von 12,2 m² entwickelt, die eine Plattendicke von nur 30 mm aufweist. Die Platte wurde mit zwei rückseitigen monolithisch verbundenen Betonstegen ausgesteift. Durch die Beschichtung der Textilien mit Epoxidharz konnten formstabile und formbare Bewehrungsstrukturen entwickelt werden, die Textilspannungen von bis zu 1400 N/mm² aufweisen. In einem Pilotprojekt wurden die Ergebnisse des Forschungsprojektes angewendet und ihre Praxistauglichkeit nachgewiesen. Der Artikel beschreibt das architektonische Konzept, gibt Hinweise zur konstruktiven Durchbildung und beschreibt Herstellverfahren der textilen Bewehrung und Fassadenplatte.

Summary: Today, facade panels made of textile reinforced concrete (TRC) with areas up to 6 m² and thicknesses of about 25 mm are state-of-the-art in Germany. These elements are strengthened with a mesh-like, non-corrosive reinforcement made of AR-glass. In a recently finished industrial research project, a facade system with large-sized elements ($A = 12,2 \text{ m}^2$) made of TRC was developed. Due to a slab thickness of only 30 mm two concrete webs were arranged to stiffen the panel. Textiles coated with an epoxy resin enable inherently stable and shapeable structures with textile stresses up to 1400 N/mm². The article describes the architectural concept, gives advice to the design layout as well as to the production process of the textile reinforcement and facade panel.

* Dies ist eine begutachtete Veröffentlichung./This is a peer-reviewed paper.

Online verfügbar/Online available: [urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244051201638-96201](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244051201638-96201)

¹ Prof. Dr.-Ing., Lehrstuhl und Institut für Massivbau, RWTH Aachen University

² Prof. Dipl.-Ing., Lehrstuhl für Baukonstruktion 2 und Entwerfen, RWTH Aachen University

³ M. Eng., Lehrstuhl und Institut für Massivbau, RWTH Aachen University

⁴ Dipl.-Ing., Lehrstuhl für Baukonstruktion 2 und Entwerfen, RWTH Aachen University

1 Einleitung

Fassadensysteme aus Stahlbeton haben insbesondere durch den massenhaften und gestalterisch wenig sensiblen Einsatz in den 1960er und 70er Jahren an Attraktivität verloren. Darüber hinaus kam es immer wieder zu Betonabplatzungen, die auf die Korrosionsanfälligkeit der Betonstähle zurückzuführen war. Seit Mitte der 90er Jahre ist jedoch wieder ein verstärktes Interesse an Beton als sichtbarem Gebäudeabschluss zu beobachten. Insbesondere Tadao Ando Bauten [1] mit ihrer Zelebrierung makelloser Sichtbetonoberflächen haben zu einer Wiederentdeckung des Materials mit seinen vielfältigen Oberflächencharakteristika geführt.

Mit der Entwicklung des neuartigen Verbundwerkstoffes "Textilbeton" steht eine Bauweise zur Verfügung, die eine nicht-korrosionsanfällige Bewehrung verwendet. Die im Stahlbetonbau notwendigen Betondeckungen nach DIN 1045-1 [2] können somit erheblich reduziert werden. Lediglich eine geringe Betondeckung von wenigen Millimetern ist notwendig, um die Übertragung von Verbundkräften zwischen Beton und Textilbewehrung sicherzustellen. Es entstehen dünnwandige Bauteile, die sich durch ein geringes Gewicht und eine hohe Schlankheit auszeichnen. Der im Textilbeton eingesetzte Feinbeton mit Größtkorndurchmessern unterhalb von 5 mm ermöglicht es zudem, scharfkantige Bauteile mit einer architektonisch hochwertigen Oberfläche herzustellen.

Heutzutage werden bereits kleinformatige Textilbetonplatten ($A < 1 \text{ m}^2$) im Fassadenbau eingesetzt, für die teilweise allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen vorliegen, z. B. [3]. Die Befestigung erfolgt in der Regel mit metallischen Unterkonstruktionen (Stud-Frame-Systeme), die mit Hinterschnittdübeln an den Fassadenplatten befestigt werden. Aufgrund dieses Befestigungssystems sowie der geringen Fläche sind eine Vielzahl von Befestigungsmitteln und Arbeitsschritten zur Montage erforderlich.

In einem an der RWTH Aachen University durchgeführten Forschungsprojekt wurde in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Hering Bau eine architektonisch anspruchsvolle Fassadenplatte aus textilbewehrtem Beton entwickelt, die unter Betrachtung von wirtschaftlichen Aspekten auf dem Markt platziert werden kann. Für die Beteiligten des Forschungsprojektes stand somit fest, dass eine großformatige Platte mit einer Fläche von ca. 12 m^2 das Entwicklungsziel darstellen sollte. Durch die Vergrößerung der Fläche eines einzelnen Elements werden die Anzahl der Befestigungsmittel und damit der Arbeitsaufwand minimiert. Geringere Montagezeiten und -kosten wären das Resultat.

Die Anwendbarkeit dieser Fassadenplatte wurde bereits in einem Pilotprojekt verwirklicht. Der Bau- und Liegenschaftsbetrieb (BLB) NRW Aachen erstellte für das Institut für Massivbau (IMB) der RWTH Aachen eine Versuchshalle mit integrierten Büroräumen, für dessen Fassade 400 m^2 Platten aus Textilbeton mit Größen von bis zu $12,2 \text{ m}^2$ verwendet wurden, Bild 1 (a). In Bild 1 (b) ist ein einzelnes großformatiges Fassadenplattenelement dargestellt. Es besitzt Abmessungen von $2,51 \text{ m} \times 4,88 \text{ m}$ bei einer Plattendicke von nur 30 mm (+ 5 mm Strukturierung).



(a) Ansicht der Südfassade
(a) View of the southern facade



(b) Ansicht einer einzelnen Fassadenplatte
(b) View of a single panel

Bild 1: Neubau der Institutshalle mit großformatigen Fassadenplatten aus Textilbeton

Fig. 1: The new laboratory hall with large-sized facade elements made of TRC

2 Architektonisches Konzept

2.1 Räumliches Konzept und Orientierung

Aufgrund seiner inneren Raumstruktur hat die Versuchshalle des IMB eine klare Orientierung zur Schmalseite nach Westen. Dort befinden sich Büroräume während der nach Osten orientierte Teil von der eigentlichen Versuchshalle eingenommen wird. Für die Hülle wurde daher ein Konzept verfolgt, bei dem die Schmalseite nach Osten und die beiden Längsseiten weitgehend geschlossen und die Westseite vollständig verglast sind. Um die Hülle möglichst homogen erscheinen zu lassen, war es notwendig, mit großen Bekleidungselementen zu arbeiten, so dass der Fugenanteil in der Fassade sehr klein gehalten wird. Die notwendigen Öffnungen für Anlieferung, Erschließung und Belichtung wurden flächenbündig in die Fassade integriert. Zusätzlich hierzu wurden in der Versuchshalle Dachoberlichtbänder angeordnet, die eine gute natürliche Belichtung und Belüftung des Arbeitsbereiches gewährleisten. Im Inneren wird die Längsorientierung durch eine verglaste Trennwand zwischen Versuchshalle und Bürotrakt ebenfalls Raum bildend.

2.2 Fassadenkonzept

2.2.1 Raster und Elementabmessungen

Grundlage für die Fassadenteilung war das Planungs raster von 1,20 m und die Geschosshöhe von 3,42 m im Bürotrakt. Hieraus wurden abzüglich der Fugenbreiten die Abmessungen des Standardelements mit $2,38^5$ m x 3,38 m abgeleitet. Im Bereich der Versuchshalle war es notwendig, wegen des halbgeschossigen Höhenversatzes zum Bürotrakt mit größeren Elementen von $2,38^5$ m x 4,88 m zu arbeiten. Auf der Ostseite wurde aufgrund vorgegebener Baulinien ein etwas größeres Planungs raster von $2,52^5$ m verwendet, wodurch sich hier Elementabmessungen von 2,51 m x 4,88 m ergaben. An den Gebäudeecken waren jeweils Sonderelemente mit Breiten von 2,59 m notwendig. In Bild 2 sind die zwei Hauptelementtypen dargestellt.

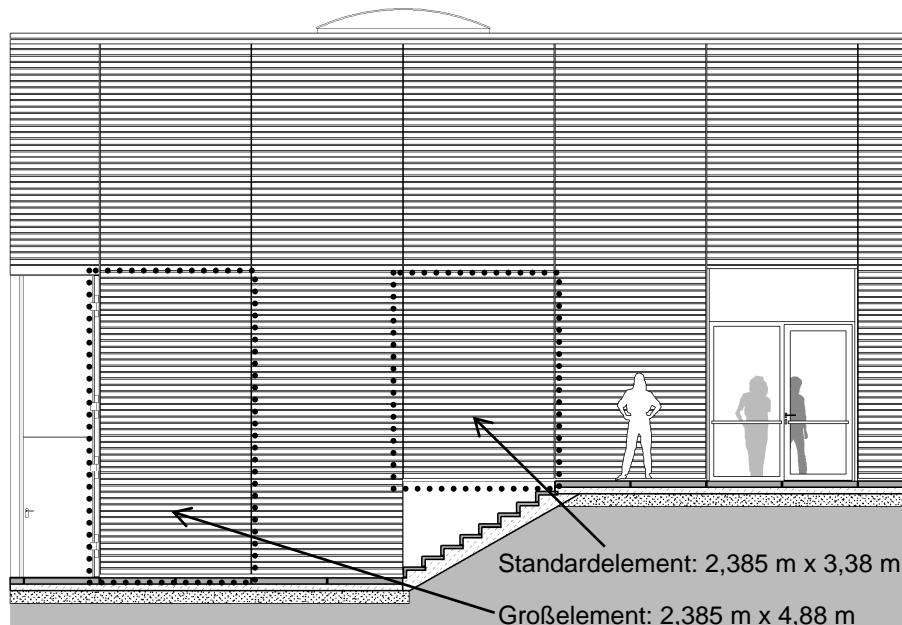


Bild 2: Fassadenausschnitt Nordseite – Elementtypen

Fig. 2: Cut out north facade – element types

2.2.2 Bauteilgeometrie

Aufgrund der großen Bauteilabmessungen und dem Ziel, die Elemente an nur wenigen Punkten aufzuhängen, war es notwendig, die nur 30 mm dicken Tafeln mit rückseitig angeordneten, vertikalen Betonstegen auszusteifen. Diese wurden von den Längsrändern jeweils um mindestens 47,5 cm eingerückt. Neben den positiven Effekten für das Tragverhalten und der Bewehrungsführung (siehe Kapitel 4) konnte dadurch auch eine Kollision der Befestigungs-

mittel mit den hochbewehrten Stahlbetonstützen der Tragkonstruktion vermieden werden, Bild 3.

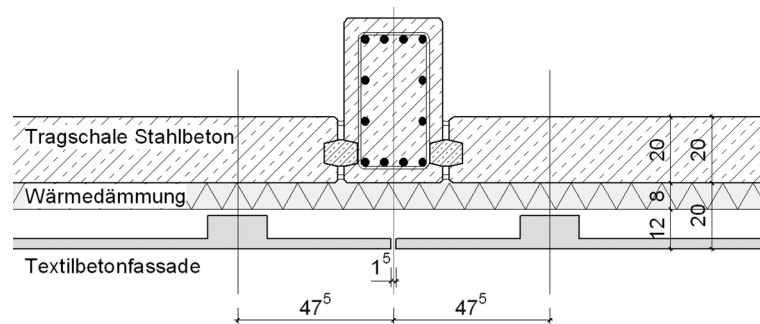


Bild 3: Horizontalschnitt: Bezug Fassade – Tragwerk

Fig. 3: Horizontal section: relation facade – structure

2.2.3 Fugenausbildung und Oberflächengestalt

Baukonstruktiv handelt es sich bei der Fassade um eine hinterlüftete Fassade mit 15 mm breiten, offenen Vertikalfugen. Die 20 mm breiten Horizontalfugen wurden mit einem vorkomprimierten Dichtungsband geschlossen, um ein Hinterlaufen der Fassade mit Regenwasser zu vermeiden. Die Oberfläche der Elemente wurde mit einer horizontalen Nutenstruktur versehen. Durch die Nuten mit einer Tiefe von 5 mm und einer Breite von 20 mm wurden die ebenfalls 20 mm breiten Horizontalfugen optisch unterdrückt, wodurch sich ein flächiger Charakter der Fassade einstellt.

Sämtliche Sonderelemente wie Fenster, Türen und Tore wurden flächenbündig mit der Fassadenbekleidung angeordnet. Im Anschlussbereich an die Fassadenelemente war daher die Ausbildung entsprechender Zargenkonstruktionen notwendig.

3 Verwendete Materialien

3.1 Feinbeton

In Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) und der Fa. Hering Bau wurde eine auf das Bauvorhaben angepasste Feinbetonmischung entwickelt. Eine wesentliche Anforderung war die einwandfreie Verarbeitbarkeit unter Praxisbedingungen, wodurch ein Größtkorndurchmesser von 5 mm festgelegt wurde. In der folgenden Tabelle 1 sind die mechanischen Eigenschaften des im Rahmen des SFB 532 entwickelten Feinbetons (PZ-0899-01) mit einem Größtkorndurchmesser von 0,6 mm denen des hier eingesetzten Betons (15/06.KSM) gegenübergestellt.

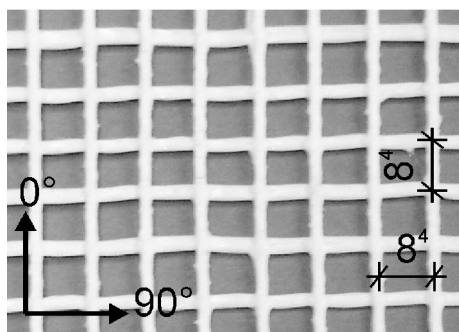
Tabelle 1: Mechanische Eigenschaften des im SFB 532 entwickelten Feinbetons (PZ-0899-01) und des hier eingesetzten Betons (15/06.KSM)

Table 1: Mechanical properties of the fine-grained concrete developed in SFB 532 (PZ-0899-01) and the used concrete (15/06.KSM)

Mechanische Eigenschaft	PZ-0899-01	15/06.KSM	Einheit
Größtkorndurchmesser	0,6	5,0	mm
Druckfestigkeit	67,1	70,9	N/mm ²
Zentrische Zugfestigkeit	4,1	4,0	N/mm ²
Elastizitätsmodul	33100	35700	N/mm ²

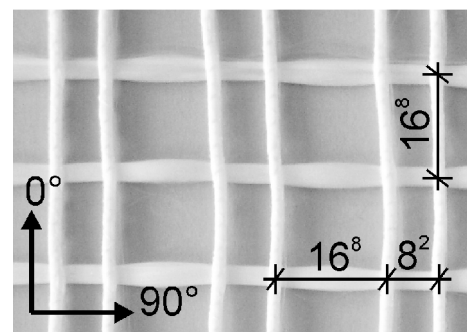
3.2 Textile Bewehrung

Das Standardtextil des SFB 532, das zusammen mit der in Tabelle 1 aufgeführten Betonmischung PZ-0899-01 verwendet wird, weist Rovingabstände von ca. 8,4 mm auf, Bild 4 (a). Würde die Betonrezeptur 15/06.KSM mit einem Größtkorndurchmesser von 5 mm zusammen mit diesem Textil verwendet, bestünde die Gefahr, dass sich einzelne Zuschlagskörner in den Öffnungen verkanten und diese verschließen. Durch diese Siebwirkung entstünde eine ungewollte Trennschicht im Bauteil, so dass das Textil modifiziert wurde. In einer Variantenuntersuchung wurden mehrere unterschiedliche Textilstrukturen hinsichtlich der maximalen Textilspannung verglichen. Das Gelege mit den höchsten Textilspannungen weist maximale Rovingabstände von ca. 16,8 mm auf und ist in Bild 4 (b) dargestellt.



(a) Textile Bewehrung: 2D-11-07

(a) Textile reinforcement: 2D-11-07



(b) Textile Bewehrung mit modifizierten Öffnungsweiten: 2D-02-08

(b) Textile reinforcement with modified openings: 2D-02-08

Bild 4: Textile Bewehrung

Fig. 4: Textile reinforcement

In Tabelle 2 sind die Eigenschaften des modifizierten Textils angegeben. Die Rovings haben eine Feinheit von 3600 tex, die sich durch Kombination eines 1200 tex Rovings und eines 2400 tex Rovings ergibt. Mit den in Bild 4 (b) angegebenen Rovingabständen resultieren daraus Bewehrungsquerschnitte von 108 bzw. 83 mm²/m. Die in Tabelle 2 angegebenen Zugfestigkeiten von bis zu ca. 1400 N/mm² wurden in Voruntersuchungen ermittelt und konnten im Rahmen der Bauteilversuche (vgl. Kapitel 5) bestätigt werden.

Tabelle 2: Eigenschaften des modifizierten Textils 2D-02-08 (Beschichtet mit einem Epoxidharz)

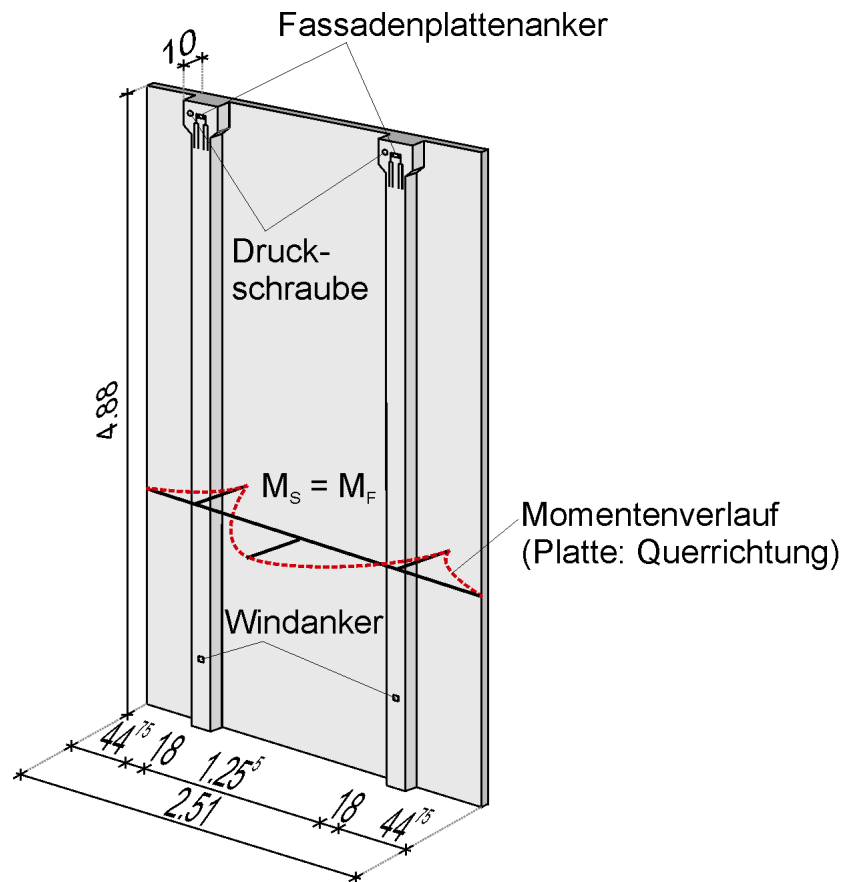
Table 2: Properties of the modified textile 2D-02-08 (Coated with an epoxy resin)

Richtung [°]	Roving	Feinheit [tex]	Bewehrungsquerschnitt a_t [mm ² /m]	Zugfestigkeit f_t [N/mm ²]
0°	Vetrotex, AR-Glas	3600	108	1163
90°	1200+2400		83	1390

Die Formstabilität während der Betonage der textilen Bewehrung wurde durch eine Beschichtung mit Epoxidharz mit anschließender Aushärtung gewährleistet. Durch diese Beschichtung ist zudem die Herstellung von geformten Bewehrungsstrukturen möglich, siehe Kapitel 4. Die unterschiedlichen Beschichtungsvorgänge von flächigen und geformten Textilien werden in Kapitel 6 beschrieben.

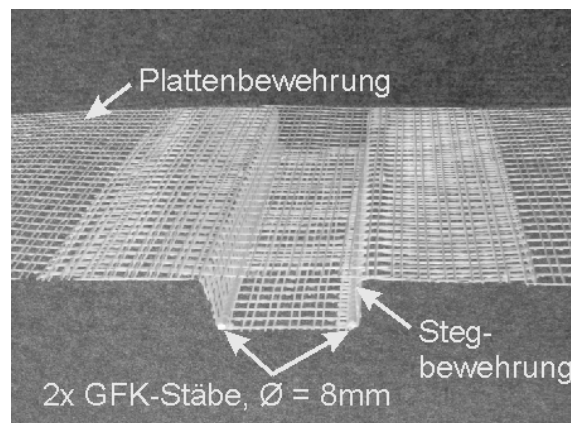
4 Konstruktive Durchbildung

Die Fassadenelemente weisen maximale Abmessungen von 2,51 m x 4,88 m auf, was einer Fläche von 12,2 m² entspricht, Bild 5. Die Platte ist dabei nur 30 mm (+ 5 mm Strukturierung) dick und wurde unter dem Aspekt festgelegt, dass unter Gebrauchslasten keine Risse auftreten. Die Platte wurde mit rückseitig angeordneten monolithisch angeschlossenen Betonstegen ausgesteift, deren Lage so festgelegt wurde, dass das sich in Plattenquerrichtung ergebene Stützmoment betragsmäßig gleich dem Feldmoment ist. Dadurch war es möglich eine mittig angeordnete textile Bewehrung über die gesamte Plattenfläche anzuordnen. Eine obere und untere Bewehrung, die im Stahlbetonbau üblich ist, hätte sich ungünstig auf den Herstellprozess ausgewirkt und konnte somit vermieden werden.

**Bild 5:** Rückansicht eines Fassadenelements**Fig. 5:** Back view of a facade panel

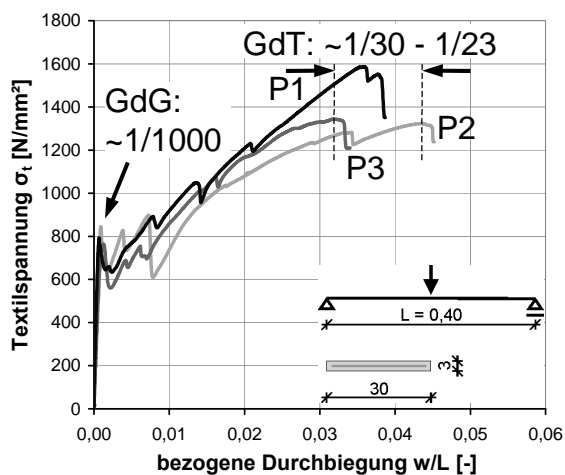
Die Befestigung der Platte an der Tragschale der Institutshalle erfolgte mit handelsüblichen im Stahlbetonbau bewährten Befestigungsmitteln. Diese wurden in den Betonstegen angeordnet, dessen Abmessungen unter Einhaltung der Randbedingungen der Hersteller festgelegt wurden. Dort wo dieses nicht möglich war, wurden im Rahmen der Zustimmung im Einzelfall gesonderte Versuche an den Befestigungselementen durchgeführt und die Tragfähigkeit nachgewiesen.

Während die Platte mit ebenen Textilien bewehrt wurde, war für die Stege eine geformte der Geometrie angepasste Bewehrung erforderlich. In Bild 6 ist die geformte Stegbewehrung und die flächige Plattenbewehrung dargestellt. Aus der statischen Berechnung waren mehrere Lagen auf der Stegunterseite erforderlich. Damit das Betonieren durch die Bewehrung möglich war, wurde auf eine mehrlagige Bewehrung verzichtet und eine GFK-Bewehrung (Schöck ComBAR[®], 2Ø8 mm, [4]) angeordnet.

**Bild 6:** Bewehrungsstruktur des Steges**Fig. 6:** Reinforcement structure of the web

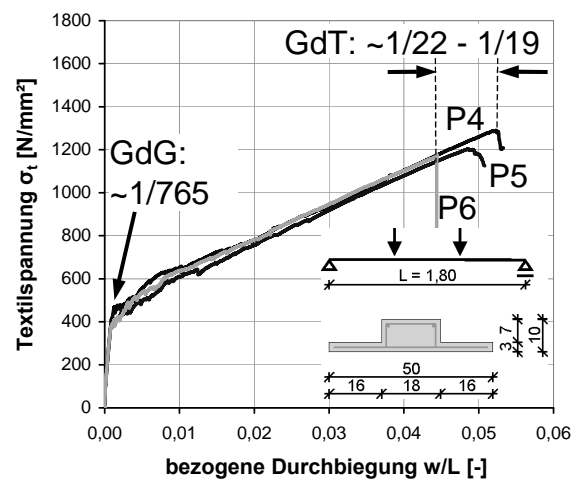
5 Untersuchungen zum Tragverhalten

Zurzeit existiert keine Norm, die die Bemessung von Bauteilen aus Textilbeton regelt. Es wurde somit eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) beim Ministerium für Bauen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen beantragt, die am 12.08.2008 erteilt wurde. Zum Nachweis der Annahmen in der statischen Berechnung wurde im Rahmen der ZiE ein umfangreiches Versuchsprogramm an Bauteilen und Befestigungselementen durchgeführt.



(a) Platte

(a) Slab



(b) Plattenbalken

(b) T-beam

Bild 7: Textilspannungs-Durchbiegungs-Diagramm, stat. System und Querschnitt der Prüfkörper**Fig. 7:** Textile tension-deflection diagram, statical system and cross-section of the member

In Bild 7 sind exemplarisch die Textilspannungs-Durchbiegungs-Diagramme einer Platte und eines Plattenbalkens dargestellt. Es ist zu erkennen, dass im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GdG), d. h. bei Auftreten des ersten Risses, eine mit dem Auge nicht wahrnehmbare Verformung von ca. $L/1000$ bis $L/765$ auftritt.

Trotz des linear-elastischen Materialverhaltens der textilen Bewehrung zeigten die Versuchskörper ein duktiles Tragverhalten. Dies zeigte sich durch eine ausgeprägte Rissbildung und große Verformungen von $\sim L/30$ bis $\sim L/20$ im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GdT).

Die maximalen Spannungen lagen beim Plattenversuch bei ca. 1580 N/mm^2 (im Mittel: 1410 N/mm^2) und beim Plattenbalken bei ca. 1280 N/mm^2 (im Mittel: 1220 N/mm^2). Durch die Beschichtung mit Epoxidharz konnte die aufnehmbare Spannung um das zwei- bis dreifache im Gegensatz zu unbeschichteten Textilien gesteigert werden, vgl. [5]. Somit ist eine wirtschaftlichere Ausnutzung der Bewehrung möglich und das Bauteil konnte mit weniger Textillagen bewehrt werden, was sich günstig auf den Herstellungsprozess auswirkte.

6 Herstellverfahren

6.1 Textile Bewehrungsstrukturen

Die flächigen Textilien wurden in einem kontinuierlichen Prozess mit Epoxidharz beschichtet und ausgehärtet. Wie in Bild 8 zu sehen ist durchlief das Textil, nachdem es in einer Wanne mit Epoxidharz getränkt wurde, einen ca. 15 m hohen Trockenturm, in dem der Härtungsvorgang stattfand. Die Temperaturen betrugen am höchsten Punkt ca. 160°C . Am Ende der Produktionskette wurde das beschichtete und ausgehärtete Textil auf eine Rolle aufgerollt.

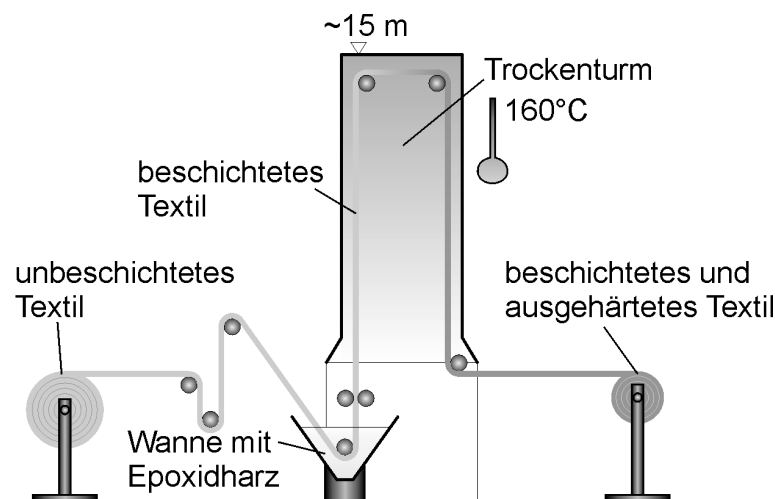


Bild 8: Beschichtung und Aushärtung der flächigen Textilien

Fig. 8: Coating and curing process of planar reinforcement

Die Beschichtung der räumlich geformten Textilien erfolgte ebenfalls in einem kontinuierlichen Prozess, allerdings wird das Textil noch nicht ausgehärtet und verbleibt in einem nicht-ausgehärteten B-Zustand (B-Stage). In einem zweiten Schritt wurde das noch formbare Prepreg-Textil in eine Stahlform gelegt, fixiert und in einem Ofen ca. 20 min bei einer Temperatur von 180°C ausgehärtet, Bild 9. Das Ergebnis ist eine formstabile, räumliche Bewehrungsstruktur, die unter Praxisbedingungen handhabbar ist.

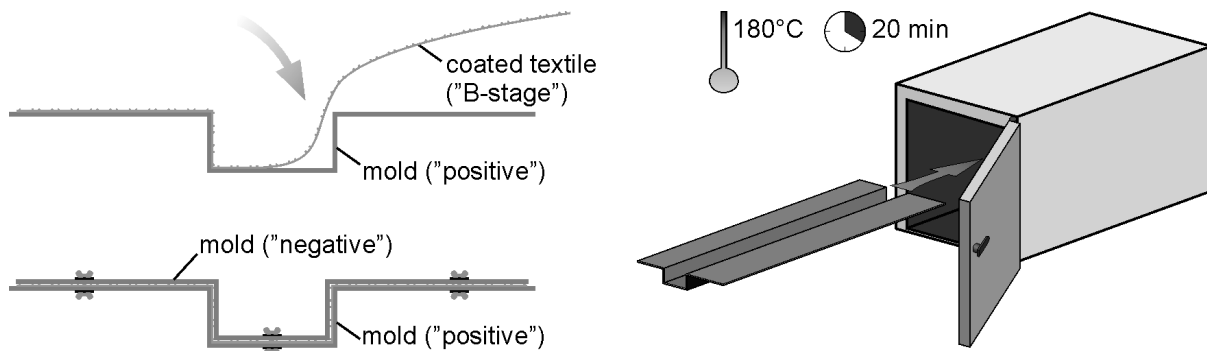
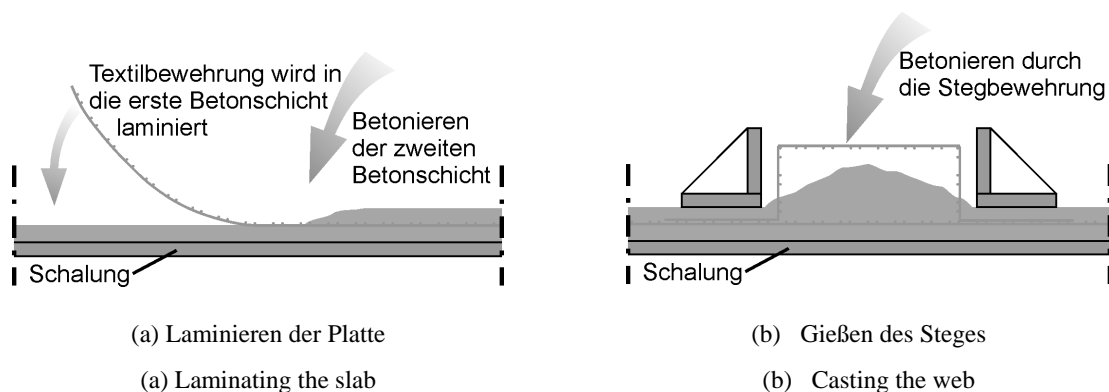


Bild 9: Aushärtung der geformten Textilien

Fig. 9: Curing process of spacious reinforcement

6.2 Fassadenplatten

Die Fassadenplatten wurden in einem kombinierten Laminier-Gieß-Verfahren hergestellt. Nachdem eine 15 mm dicke Betonschicht in die Schalung eingebracht wurde, wurde das flächige Textil darin einlamiert und darauf die zweite 15 mm dicke Schicht betoniert, Bild 10 (a). Durch die räumliche Struktur der Stegbewehrung war das Laminieren des Steges nicht möglich, so dass der Beton durch die Bewehrungsstruktur gegossen wurde, Bild 10 (b).



(a) Laminieren der Platte

(a) Laminating the slab

(b) Gießen des Steges

(b) Casting the web

Bild 10: Betonierverfahren

Fig. 10: Concreting technique

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung des Verbundwerkstoffes Textilbeton erweitert das Anwendungsspektrum im Bereich des Fassadenbaus. Es sind leichte und schlanke Bauteile möglich, die durch den Einsatz des sogenannten Feinbetons scharfkantige, fein strukturierte Fassadenplatten mit einer architektonisch hochwertigen Oberfläche ermöglichen. Durch die Tränkung der Textilien mit Epoxidharzen werden zum einen formstabile Bewehrungsstrukturen ermöglicht. Zum anderen können weitaus höhere Textilspannungen erreicht werden als bei unbeschichteten Textilien. Mit der Entwicklung einer großformatigen Fassadenplatte aus Textilbeton und der Anwendung anhand eines Pilotprojektes steht ein Fassadensystem zur Verfügung, das Befestigungselemente sowie Montagezeit minimiert und somit wirtschaftliche Vorteile bietet.

Die Autoren bedanken sich bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V., die das Projekt im Rahmen des Programms "Pro Inno II" finanziell gefördert haben. Weiterhin wird den Firmen Hexion, von Roll und Schöck für die finanzielle und technische Unterstützung gedankt.

8 Literatur

- [1] FUTAGAWA, Y. (ED.): *Tadao Ando*. GA Architect 8. Tokyo: A.D.A. EDITA Tokyo, 1987, S.92 ff.
- [2] DIN 1045-1: *Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2001.
- [3] DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: *Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung: Fassadenplatte aus Betonwerkstein mit rückseitig einbetonierten Befestigungselementen zur Verwendung bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen (Z-33.1-577)*, 2004.
- [4] COMBAR: *Technische Information Schöck ComBAR®*. Schöck Bauteile GmbH, 2006.
- [5] RAUPACH, M. ET AL.: *Epoxy-impregnated textiles in concrete - load bearing capacity and durability*. In: HEGGER, J.; BRAMESHUBER, W.; WILL, N. (Edt.): *Proceedings of the 1st International RILEM Conference. September 6-7, 2006, Aachen, Germany*. RILEM Publications S.A.R.L., 2006, pp. 77-88.